创伤性伸直型膝关节挛缩患者动态足底压力分布规律研究

10.12114/j.issn.1007-9572.2022.0546

熊斌[1,3]，周云[1,3*]，王华[2]，张全兵[1,3]，刘奕[1,3]，李凯[1,3]，郑浩然[3]，王婧[3]，王取南[2]

基金项目：安徽省重点研究和开发计划项目（人口健康领域）（201904a07020067）
安徽医科大学2021年临床医学学科建设项目（2021 lcxk031）
安徽医科大学2022年临床医学学科建设项目（临床与前期共建学科项目）（2022 lcxkEFY010）
安徽省2020年高等学校省级质量工程项目（2020jyxm0903）

1.230601 安徽省合肥市，安徽医科大学第二附属医院康复医学科　2.230032 安徽省合肥市，安徽医科大学公共卫生学院卫生毒理学教研室　3.230601 安徽省合肥市，安徽医科大学第二临床医学院
*通信作者：周云，骨科学博士，主任医师，博士生导师；E-mail：zhoukeg@163.com

【摘要】　背景　创伤性伸直型膝关节挛缩在临床上十分常见，绝大部分患者存在步态异常。在临床康复中，对于步态的评估多采用量表及平衡仪进行。动态足底压力测试作为科学、客观的评估方法已广泛应用于下肢疾患的评估。国内外对于动态足底压力测试在创伤性伸直型膝关节挛缩患者中的应用较少。**目的**　探讨创伤性伸直型膝关节挛缩患者动态足底压力的分布规律，为指导康复评估和步态训练提供数据支持。**方法**　选取2020年12月——2021年12月在安徽医科大学第二附属医院康复医学科治疗的35例创伤性伸直型膝关节挛缩患者作为研究组，其中男17例女18例，年龄14~47岁，平均年龄35.29±9.14岁；身高155~180cm，平均身高166.64±6.96 cm；体重43~89kg，平均体重65.03±9.73 kg；按照Judet膝关节评级标准评价膝关节屈曲活动度，其中优8例，良10例，可10例，差7例。同时期志愿参与本研究的步态正常者30例作为对照组，其中男15例女15例，年龄21~66岁，平均年龄35.23±10.61岁；身高150~183cm，平均身高167.60±9.77 cm；体重49~94kg，平均体重64.47±11.83 kg。应用ByGait-G6060-5步态分析系统测量仪分别采集两组患者足底压力参数，对比分析两组受试者步长、步宽、步速、足角、总触地时长、足底各分区压力占比、足底总压力Ad值、COP-X偏移、COP-Y偏移。**结果**　研究组步长、步速较对照组明显减少，统计学比较有显著性差异（t=-4.84，P=0.000；t=-2.90，P=0.005）；研究组步宽、足角和总触地时长较对照组增大，差异均具有统计学意义（t=2.34，P=0.023；t=2.62，P=0.011；t=2.55，P=0.013）；研究组在M4区（第四跖骨）、M5区（第五跖骨）足底压力较对照组显著升高，差异有显著统计学意义（t=3.566，P=0.001；t=3.211，P=0.002）；研究组在T2区（第二至第五脚趾）足底压力较对照组升高，差异有统计学意义（t=2.417，P=0.020）；研究组在MH区（足后跟内侧）足底压力较对照组显著降低，差异有显著统计学意义（t=-2.874，P=0.006）；研究组在LH区（足后跟外侧）足底压力较对照组降低，差异有统计学意义（t=-2.644，P=0.010）；研究组患侧压力Ad值占比低于健侧，差异有显著统计学意义（t=-13.357，P<0.01）；研究组在COP-X方向和COP-Y方向的偏移值均明显高于对照组，差异有显著统计学意义（t=3.069，P=0.003；t=3.150，P=0.002）。**结论**　创伤性伸直型膝关节挛缩患者步长短、步宽大、步速慢、足角大、双足总触地时长长，步行时患侧下肢负重较少，且主要以前足和足外侧缘负重，双足压力中心轨迹在横向和纵向的偏移均增大，步行时晃动大，稳定性差。

【关键词】　膝关节挛缩；动态足底压力；步态；创伤；伸直型

Study on The Distribution of Dynamic Plantar Pressure in Patients with Traumatic Extension Knee Contracture

XIONG Bin[1,3]，*ZHOU Yun*[1,3*]，*WANG Hua*[2]，*ZHANG Quanbin*[1,3]，*LIU Yi*[1,3]，*Li Kai*[1,3]，*ZHENG Haoran*[3]，*WANG Jing*[3]，*WANG Qunan*[2]
1.*Department of Rehabilitation Medicine, Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University，Hefei 230601，China*
2.*Department of Hygiene Toxicology，School of Public Health，Anhui Medical University，Hefei 230032，China*
3.*The Second Clinical College of Anhui Medical University，Hefei 230601，China*
**Corresponding author*: *ZHOU Yun，Doctor of Orthopedics，Chief Physician，Doctoral Supervisor；E-mail：*zhoukeg@163.com

Funding:
Anhui Key Research and Development Program-Population Health (201904a07020067)
Clinical Medicine Discipline Construction Project of Anhui Medical University in 2021 (2021lcxk031)
Clinical Medicine Discipline Construction Project of Anhui Medical University in 2022（Clinic and Preliminary Co-construction Discipline Project）(2022lcxkEFY010)
Provincial Quality Project of Higher Education in Anhui Province (2020jyxm0903)

【Abstract】　Background　Traumatic extension knee contractures are clinically common, and the vast majority of patients have gait abnormalities. In clinical rehabilitation, the assessment of gait is mostly carried out using a scale and a balancer. As a scientific and objective assessment method, the dynamic plantar stress test has been widely used in the assessment of lower limb disorders. There are fewer applications of dynamic plantar stress testing in patients with traumatic stretch knee contractures at home and abroad. **Objective**　To explore the distribution of dynamic plantar pressure in patients with traumatic extension knee contracture, and to provide data support for guiding rehabilitation assessment and gait training. **Methods**　35

patients with traumatic extension knee contractures treated in the Department of Rehabilitation Medicine of the Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University from December 2020 to December 2021 were selected as the research group, including 17 males and 18 females, aged 14-47 years old, with an average age of 35.23±10.61 years, height 155-180cm, average height of 166.64±6.96 cm, weight of 43-89kg, average weight of 65.03±9.73 kg. According to the Judet knee joint rating standard, the knee flexor range was evaluated, of which 8 cases were excellent, 10 cases were good, 10 cases were fair, and 7 cases were poor.30 cases of normal gait who volunteered to participate in this study in the same period were used as a control group, including 15 males and 15 females, aged 21-66 years old, with an average age of 35.23±10.61 years old, height 150-183 cm, average height of 167.60±9.77 cm, weight 49-94 kg, average weight of 64.47±11.83 kg. ByGait-G6060-5 Gait Analysis System measuring instrument was used to collect the plantar pressure parameters of two groups of patients, and the step length, step width, pace speed, foot angle, ground contact duration, proportion of plantar partition pressure, total plantar pressure Ad value, COP-X offset, and COP-Y offset of the two groups of subjects were compared and analyzed. **Results** The step length and pace of the study group were significantly reduced compared with the control group, and the statistical comparison was significant (t =-4.84, P =0.000; t =-2.90, P =0.005); the step width, foot angle and total touch length of the study group were significant compared with the control group(t =2.34, P =0.023; t =2.62, P =0.011; t =2.55, P =0.013); the study group was in the M4 zone (fourth metatarsal), Plantar pressure in M5 (fifth metatarsal) was significantly higher than in the control group, and the difference was statistically significant (t =3.566, P =0.001; t =3.211, P =0.002); the plantar pressure in the T2 zone (second to fifth toe) was significantly higher than that in the control group (t =2.417, P =0.020); the plantar pressure in the MH zone (medial heel) was significantly lower than that in the control group (t =- 2.874, P =0.006), plantar pressure in the LH zone (lateral heel) decreased significantly from the control group (t =-2.644, P =0.010); The proportion of AD values on the affected side of the study group was lower than that in the healthy side, and the difference was statistically significant (t =-13.357, P <0.01); the deviation values in the COP-X direction and COP-Y direction of the study group were significantly higher than those in the control group, and the difference was statistically significant (t =3.069, P =0.003; t =3.150, P =0.002). **Conclusions** Patients with traumatic extension knee contracture have short steps, wide steps, slow pace, large foot angles, and bipedal total touch duration, and the lower limbs on the affected side bear less weight when walking, and mainly bear weight on the forefoot and lateral edges of the foot, and the trajectory of the bipedal pressure center increases in lateral and longitudinal shifts, and the shaking is large and the stability is poor when walking.

【Key words】 Knee contractures; Dynamic plantar pressure; Gait; Traumatic; Extension

关节挛缩是临床上极其常见的疾病，通常发生于关节创伤、关节炎及中枢神经系统损伤等疾病[1-2]。以膝关节挛缩最为常见，多由膝关节创伤及其周围组织损伤所致[3-4]。膝关节创伤后的变化主要包括两个方面，一是膝关节本身及其周围组织的破坏，二是损伤后的固定导致关节的挛缩[5]。对于膝关节创伤的患者，这两种因素往往同时存在，且外伤的程度、固定的方式和时间都是挛缩程度的重要影响因素[6]。膝关节挛缩根据关节活动受限的方向分为伸直型挛缩和屈曲型挛缩，因膝关节创伤后固定于完全伸直位，常并发膝关节屈曲活动受限导致伸直型关节挛缩。膝关节伸直挛缩被定义为膝关节最大屈曲角度小于正常活动范围[7-8]。膝关节一旦发生伸直型挛缩，将会严重影响患者的负重及步行能力。临床上，创伤性伸直型膝关节挛缩的功能评估主要依赖体格检查和膝关节相关的评估量表，但这些评估往往只局限于膝关节本身。足底压力分析作为步态分析的重要方法，能简便、快捷、客观地量化步行过程中下肢生物力学负荷的特征，为步行训练提供一定的指导[9-10]。有文献报道，随着膝关节运动学和力学指标的变化，踝关节也将产生相应的参数改变，从而影响足底压力参数[11]。本研究通过分析创伤性伸直型膝关节挛缩患者动态足底压力的分布规律，在与正常步态的健康成人进行比较的基础上，探讨创伤后膝关节伸直型挛缩对步行时足底动态压力参数的影响，并简要阐述其变化机制，为临床该类患者的康复评估与治疗提供借鉴。

1　资料与方法

1.1 一般资料

选择 2020 年 12 月——2021 年 12 月在安徽医科大学第二附属医院康复医学科接受测试的受试者 65 例，根据是否有创伤性膝伸直型关节挛缩，分为研究组（有创伤性伸直型膝关节挛缩）35 例和对照组（步态正常的健康人）30 例。本研究经过安徽医科大学第二附属医院医学研究伦理管理委员会审批（编号：YX2020-072）。

研究组入选标准：（1）符合创伤性伸直型膝关节挛缩诊断标准[12]；（2）初次损伤且均为单侧损伤；（3）能够充分理解治疗师的要求并遵照执行，无认知障碍；（4）所有研究对象均为黄种人；（5）受试者均签署康复治疗知情同意书。排除标准：（1）既往由于非外伤后关节制动因素造成的关节挛缩；（2）屈曲型膝关节挛缩；（3）合并其他影响步态疾病者；（4）不能独立步行者；（5）无法配合治疗者。

研究组膝关节 Judet 评级标准[13-14]为：以膝关节完全伸直位为 0°起始位，优：屈膝＞100°；良：屈膝 80°-100°；可：屈膝 50°-79°；差：屈膝＜50°。两组患者性别、年龄等一般资料比较，差异无统计学意义（P＞0.05），具有可比性，见表 1。

表 1 两组患者一般资料比较

Table 1 Comparison of general data between the two groups

组别	例数	性别（男/女）	年龄（岁）	身高（cm）	体重(kg)
研究组	35	17/18	35.29±9.14	166.64±6.96	65.03±9.73
对照组	30	15/15	35.23±10.61	167.60±9.77	64.47±11.83
t/x^2		0.013	0.021	-0.549	0.210
P 值		0.909	0.983	0.585	0.834

1.2 方法

1.2.1 测试仪器与设备

足底压力测试采用中国科学院合肥物质科学研究院运动与健康信息技术研究室研发的 ByGait-G6060-5 步态分析系统，其单块测量有效区域 600 mm × 600 mm，点阵密度为 2.25 点/cm^2，采样频率为 100 Hz，总长 3000mm。

1.2.2 测试程序

动态测试时，嘱测试者双足脱鞋袜裸足，站立于离测试板起始端 2 米处位置，调整呼吸并放松 1 分钟，待适应地板温度和硬度后，以平常步态走向测试板，直至双足完全通过测试板全长，为一次测试结束。重复测试三次，取平均值纳入结果分析。要求测试者在整个测试过程中不使用任何辅助器具并独立步行，两眼平视前方，双上肢自然摆臂，不得刻意在测试板上跺脚和停留。测试结果如图 1。

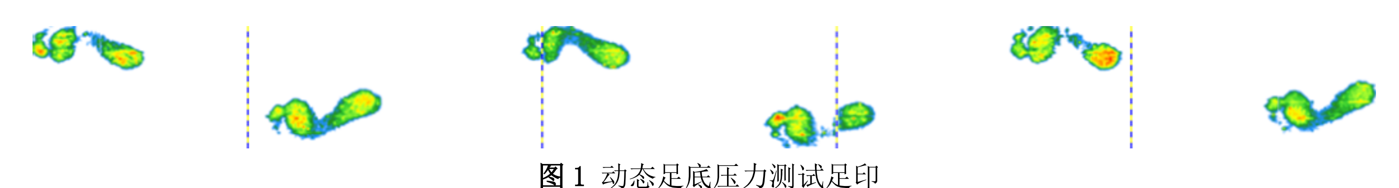


图 1 动态足底压力测试足印

Figure 1 Dynamic plantar pressure test footprints

静态测试时，嘱测试者双足脱鞋袜裸足，站立于压力板静态模块上，双足自然分开，双手自然下垂，双眼平视前方，调整呼吸并放松 1 分钟，待适应温度和硬度后，安静站立 10s，测试完成。要求测试者稳定站立，测试期间双足不得离开压力板，待站立稳定后开始计时。测试结果如图 2。

1.2.3 采集参数

①步长：指不同足的足跟相继触地之间的距离。②步宽：指两次连续的足触地时双侧足弓之间的距离。③步速：单位时间内所行走的距离。④足角：身体前进方向与足的长轴之间的夹角，本研究取两侧足角绝对值相加值作为足角测量值纳入数据分析。⑤触地时长：一侧足跟首次着地至同侧足尖离地的时间，本研究取两侧触地时长相加值作为总触地时长测量值纳入数据分析。⑥足底各分区压力占比和双侧足底压力 Ad 值：足底压力分区基于解剖学将足底划分为 10 个区域： 踇趾（T1），第二至第五脚趾（T2），第一跖骨（M1），第二跖骨（M2），第三跖骨（M3），第四跖骨（M4），第五跖骨（M5），足底中部（MF），足后跟内侧（MH），足后跟外侧（LH），见图 3。系统测定各区的压力占比和双侧足底压力 Ad 值，占比或数值越大，表示压力越大，负重越多。本研究观察组取患侧下肢各分区的占比值纳入数据分析，对照组取左侧下肢各分区的占比值纳入数据分析。⑦足底压力中心（COP）轨迹：足底压力中心是足底垂直地面反作用力瞬时合力的作用力点，压力中心轨迹是由压力中心的一系列坐标组成的轨迹。系统分析计算出 COP 在纵向（身体前后方向）的最大偏移距离并以 COP-Y 表示，COP 在横向（身体左右方向）的最大偏移距离以 COP-X 表示，偏移越大，表示身体晃动越大，稳定性越差。

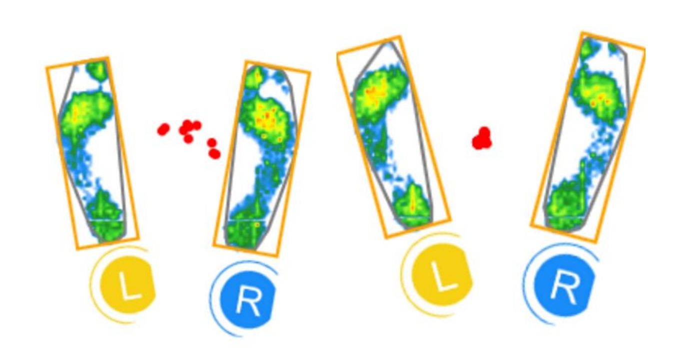


图 2 静态足底压力中心轨迹

Figure 2 Trajectory of static plantar pressure cente



图 3 足底分区

Figure 3 Plantar division

1.3 统计学方法

使用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析。正态分布的连续变量采用（$\bar{x}\pm s$）表示，计量资料采用独立样本 t 检验进行比较；计数资料采用 x^2 检验进行比较。$P<0.05$ 为差异有统计学意义，$P<0.01$ 为差异有显著统计学意义。

2 结果

2.1 两组步长、步宽、步速、足角、触地时长比较，见表 2。

表 2 两组步长、步宽、步速、足角、触地时长比较

Table 2 Comparison of step length, step width, step speed, foot Angle and touching time between the two groups

参数	研究组	对照组	*t* 值	*P* 值
步长（m）	0.59±0.23	0.83±0.17	-4.84	0.000
步宽（m）	0.17±0.39	0.14±0.37	2.34	0.023
步速（m/s）	0.62±0.29	0.81±0.20	-2.90	0.005
足角（°）	20.10±10.60	14.37±6.08	2.62	0.011
触地时长（s）	1.31±0.41	1.09±0.26	2.55	0.013

研究组步长、步速较对照组明显减少，统计学比较有显著性差异（$P<0.01$）；研究组步宽、足角和触地时长较对照组增大，差异均具有统计学意义（$P<0.05$）。

2.2 两组足底各区域压力分布占比比较，见表 3。

表 3 两组足底各区域压力分布占比比较（%）

Table 3 Comparison of the proportion of pressure distribution in each plantar area between the two groups (%)

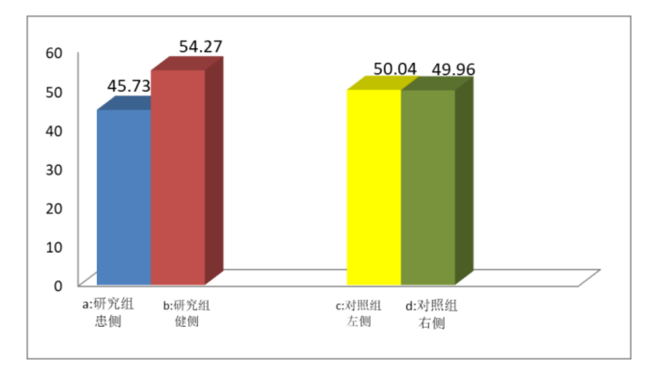
分区	研究组	对照组	*t* 值	*P* 值
T1	5.69±2.27	5.30±1.99	0.732	0.467
T2	7.27±2.19	5.96±1.87	2.572	0.012
M1	10.69±2.86	11.58±2.36	-1.348	0.183
M2	8.80±2.02	9.18±1.78	-0.794	0.430
M3	8.93±1.70	8.63±2.10	0.654	0.515
M4	7.81±2.00	6.39±1.00	3.566	0.001
M5	4.31±1.45	3.34±0.86	3.211	0.002
MH	18.55±4.14	21.13±2.86	-2.874	0.006
LH	16.31±3.78	18.40±2.30	-2.644	0.010
MF	11.61±4.81	10.07±2.85	1.537	0.129

研究组在 M4 区（第四跖骨）、M5 区（第五跖骨）足底压力较对照组显著升高，差异有显著统计学意义（$P<0.01$）；研究组在 T2 区（第二至第五脚趾）足底压力较对照组升高，差异有统计学意义（$P<0.05$）；研究组在 MH 区（足后跟内侧）足底压力较对照组显著降低，差异有显著统计学意义（$P<0.01$）；研究组在 LH 区（足后跟外侧）足底压力较对照组降低，差异有统计学意义（$P<0.05$）。其余各区比较无统计学差异。

2.3 两组足底总压力 Ad 值占比比较，见表 4。

表 4 两组足底总压力 Ad 值占比比较（%）

Table 4 Ratio of total plantar pressure Ad value between the two groups (%)



研究组患侧压力 Ad 值占比（%）为 45.73±2.68，研究组健侧压力 Ad 值占比（%）为 54.27±2.68，健侧与患侧比较，患侧压力占比低于健侧，差异有显著统计学意义（t =-13.357，P<0.01）。对照组左侧压力 Ad 值占比（%）为 50.04±1.50，右侧压力 Ad 值占比（%）为 49.96±1.50，左侧与右侧比较，差异无统计学意义（t =0.204，P =0.839）。

2.4 两组足底压力中心轨迹偏移值比较，见表 5

表 5 两组足底压力中心轨迹偏移值比较（mm）

Table 5 Comparison of center trajectory deviation values of plantar pressure between the two groups (mm)

方向	研究组	对照组	t 值	P 值
COP-X	8.37±2.41	6.60±2.22	3.069	0.003
COP-Y	12.97±3.82	9.97±3.85	3.150	0.002

研究组在 COP-X 方向的偏移值高于对照组，差异有统计学意义（P<0.05），研究组在 COP-Y 方向的偏移值高于对照组，差异有统计学意义（P<0.05）。

3 讨论

膝关节创伤是导致膝关节挛缩的主要原因之一[15]。当膝关节受到创伤后，关节面的破坏、周围组织的损伤、创伤后的血肿机化、关节囊及周围组织的粘连等均会导致关节挛缩的发生[6]。Hagiwara Y[16]等认为关节囊的形态改变是导致关节挛缩的关键因素。近年来的研究者多认为膝关节创伤后，关节滑膜的纤维化是造成关节挛缩发生的主要原因[17-19]。周云等在动物实验中的研究也表明膝关节外伤后，随着固定时间的延长，关节液 TGF-β1 含量呈上升趋势，关节囊纤维化的程度逐渐增加，最终导致关节挛缩的发生[20]。在临床病例中，膝关节的创伤和固定往往是先后发生的，一方面，创伤后膝关节周围组织的直接损伤和关节腔内的出血会造成周围组织的粘连，另一方面，创伤后的固定使得关节腔内血液循环和滑液流动减慢，发生粘连。除此之外，创伤后的膝关节其周围肌群主动收缩减少，肌肉萎缩，延展性降低，也会引起肌性挛缩[21]。膝关节作为下肢的重要关节，一旦出现关节挛缩，将会导致整个患侧下肢生物力学的改变。传统的膝关节功能评估主要包括膝关节的活动度、膝关节周围肌群的肌力与肌张力、下肢的平衡与负重以及本体感觉方面。在步态方面的评估也多局限于患侧下肢各个时相的支撑和迈步是否正常。对于行走而言，静态的评估往往难以对动态的迈步作出客观的评判。有研究表明，下肢疾病导致的行走动态失衡，可引起足底压力分布的变化[22-23]，动态足底压力测试仪能够很好地捕捉到步行过程中足底压力的改变，从而对下肢的负重及行走能力进行客观的评估。

本研究中，笔者对比了创伤性伸直型膝关节挛缩患者和正常人之间足底压力的差异，从步态分析的一般数据来看，创伤性伸直型膝关节挛缩患者的步长和步速均较正常人降低，这与创伤后的疼痛、膝关节挛缩导致膝关节的主动屈曲角度减小有关[24]，另一方面，患侧股四头肌肌力的下降也会降低迈步过程中膝关节伸直的速度[25]。夏清[26]等研究表明，膝关节功能障碍患者患肢足蹬伸时段高于健侧对应时段。前期有学者在膝关节骨性关节炎患者的研究中发现在蹬离前期膝关节由屈曲到伸直的过程延长，甚至不能完全伸直膝关节[27-28]。对于膝关节功能障碍的患者，上述因素均会导致步速的降低。另外，研究组的步宽、足角较对照组增大，这与步行时的稳定性有关，增大步宽和足角能增强下肢负重及行走时的稳定性，这与李秀珍[29]等的研究一致。需要指出的是，在前人的研究中，膝关节损伤的患者患侧下肢的触地时长较对侧下降[12]。本研究中，研究组触地总时长较对照组升高，考虑是由于患侧下肢负重能力较差，在步行的支撑相过程中健侧下肢的触地时长升高所致。

足底各区域压力方面，研究组在 T2（第二至第五脚趾）区、M4（第四跖骨）区、M5（第五跖骨）区足底压力较对照组升高，在 LH（足后跟外侧）区、MH（足后跟内侧）区足底压力较对照组降低。从足底分区压力的变化可以看出，创伤性膝关节挛缩患者前外侧足的压力占比相对于正常人有所升高，后内侧足的压力占比相比正常人有所下降，整体来说，在步行期间，主要是足的前外侧负重较多。笔者分析可能是为了减轻步行时膝关节内侧平台负重导致的疼痛，从而代偿性以足外侧缘负重所致。另外，大部分创伤后膝关节挛缩的患者由于制动或者患侧下肢负重较少，患侧小腿三头肌和跟腱存在一定程度的挛缩，从而导致步行时患侧足跟不能充分负重，使得患侧前足的负重增加，这与王欢[30]、张永祥[31]的研究结构一致。本研究中，观察组患侧压力 Ad 值占比明显低于健侧，统计学分析有显著差异性（P<0.01），而对照组两侧力 Ad 值占比差异无统计学意义（P=0.839），这表明创伤性伸直型膝关节挛缩患者两侧足底总压力不对称，且患侧压力占比较低。下肢力线是通过股骨头中心、膝关节中心和踝关节中心三点之间的连线，正常步态时，两侧下肢的力线基本一致，所产生的足底压力相差无几[32]。创伤性伸直型膝关节挛缩患者由于患侧膝关节的疼痛导致患肢负重能力下降，在步行时，为了减轻膝关节负荷，身体重心向健侧偏移，使得健侧负重高于患侧。

足底压力中心轨迹（COP 轨迹）可用来衡量人在站立时双足压力中心在左右方向和前后方向的偏移，可以根据该轨迹来评估足部运动的稳定性，常用于步态的分析和平衡能力的评估[33-35]。正常情况下，在保持静止站立时，COP 轨

迹的偏移较小，且两侧的轨迹基本相似[36]。创伤性伸直型膝关节挛缩的患者存在膝关节周围肌群肌力的下降、关节活动度的减小以及本体感觉的障碍，会导致站立时患侧下肢力线的改变[3]，而且膝关节的不稳定也会导致站立时身体重心的晃动，这些变化会影响 COP 轨迹。另外，由于患侧足主要以前外侧足负重居多，使得踝关节处于一定程度的内翻，同样会导致 COP 轨迹的偏移，这与侯宗辰[37]等的研究结果一致。本研究中，观察组在 Y 轴方向和 X 轴方向上的轨迹偏移幅度均增大，这说明静止站立时，创伤性伸直型膝关节挛缩患者重心偏移的幅度增大，意味着站立时的稳定性较正常人差。

综上所述，创伤性伸直型膝关节挛缩患者与正常人相比，足底压力在静态与动态方面均存在差异。主要表现为：创伤性伸直型膝关节挛缩患者步长短、步宽大、步速慢、足角大、双足总触地时长长，步行时患侧下肢负重较少，且主要以前足和足外侧缘负重，双足压力中心轨迹在横向和纵向的偏移均增大，步行时晃动大，稳定性差。通过足底压力测试的方法可以客观、科学、有效地检测到创伤性伸直型膝关节挛缩患者下肢负重和站立时的步态特征，在对该类患者进行下肢功能评估和康复训练时，可提供一定的参考。但本研究的不足之处主要是样本量较小，且未对研究对象进行长期随访和二次评估。

作者贡献：熊斌进行文章的构思与设计，撰写论文；周云进行研究的实施与可行性分析，论文的修订；王华进行文章的质量控制；熊斌、张全兵、刘奕进行病例的入选筛查；熊斌、李凯进行数据的统计与分析；熊斌、郑浩然、王婧进行论文数据的收集；王取南进行论文的审校。

本文无利益冲突。

参考文献

1. 王锋, 张全兵, 周云，等.发散式冲击波联合常规康复治疗创伤后膝关节伸直挛缩的疗效观察[J].中国骨与关节损伤杂志,2020, 35(2):187-189. DOI:10.7531/j.issn.1672-9935.2020.02.028. WANG F, ZHANG QB, ZHOU Y, et al. Therapeutic effect of divergent shockwave combined with conventional rehabilitation in the treatment of knee joint extensioncontracture after trauma[J]. Chinese Journal of Bone Joint Injury, 2020, 35(2): 187-189. DOI:10.7531/j.issn.1672-9935.2020.02.028.
2. KANEGUCHI A, OZAWA J, KAWAMATA S, et al. Development of arthrogenic joint contracture as a result of pathological changes in remobilized rat knees[J]. J Orthop Res. 2017，35(7):1414-1423. DOI: 10.1002/jor.23419
3. 张全兵, 周云, 王锋，等.不同时机综合康复治疗对膝关节周围骨折术后膝关节挛缩的疗效分析[J]. 中国伤残医学, 2020, 28(17):7-10. DOI:10.13214/j.cnki.cjotadm.2020.17.004. ZHANG QB, ZHOU Y, WANG F, et al. Research for the effects of different phases of comprehensive rehabilitation therapy on trauatic knee joint contracture after operation of fracture around the knee joint [J]. Chinese Journal of Trauma and Disability Medicine, 2020, 28(17):7-10. DOI:10.13214/j.cnki.cjotadm.
4. SASABE R, SAKAMOTO J, GOTO K, et al. Effects of joint immobilization on changes in myofibroblasts and collagen in the rat knee contracture model[J]. J Orthop Res. 2017，35(9):1998-2006. DOI: 10.1002/jor.23498.
5. ZHOU Y, ZHANG QB, ZHONG HZ,et al. Rabbit model of extending knee joint contracture: progression of joint motion restriction and subsequent joint capsule changes after immobilization[J]. J Knee Surg, 2020, 33(1):15-21. DOI: 10.1055/s-0038-1676502
6. 张全兵，周云，钟华璋，等.关节挛缩的发病机制和治疗进展[J].中华创伤骨科杂志,2017,19(06):548-552. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2017.06.018. ZHANG QB, ZHOU Y, ZHONG HZ, et al. Pathogenesis and progressing treatment of joint contracture [J]. Chin J orthopaedic trauma,2017,19(06):548-552. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2017.06.018.
7. 徐齐宇,张全兵,周云等.床边静态渐进式牵伸治疗膝关节伸直型挛缩近期疗效观察[J].中国伤残医学，2021,29（16):10-11. DOI:10.13214/j.cnki.cjotadm.2021.16.004. XU QY, ZHANG QB, ZHOU Y et al. Short-Term Outcomes of Beside Static Progressive Stretch for the Treatment of Extending Knee Joint Contracture [J]. Chin J disability med, 2021,29 (16) :10-11. DOI:10.13214/j.cnki.cjotadm.2021.16.004.
8. 沈虹.早期综合康复疗法治疗下肢骨折内固定术后膝关节功能障碍的临床疗效观察[J].中国伤残医学，2013,21（8）:324. DOI:10.3969/j.issn.1673-6567.2013.08.258. SHEN H. Clinical effect of early comprehensive rehabilitation therapy on knee dysfunction after internal fixation of lower limb fracture [J]. Chin j disability med, 2013,21 (8) :324. DOI:10.3969/j.issn.1673-6567.2013.08.258.
9. 王欣，罗文，黄文泽，等.单侧膝骨关节炎临床分期与双足足底压力的相关性[J].中国组织工程研究，2021,25(27): 4312-4317. WANG X, LUO W, HUANG WZ, et al. Correlation between clinical stage of unilateral knee osteoarthritis and double plantar pressure [J]. Chin J tissue engineering research, 2021,25 (27) : 4312-4317.
10. RYOSUKE K,YUICHI H,SEIJI K ,et al.Similarities and Differences of Diagnostic Manual Tests for Anterior Cruciate Ligament Insufficiency[J]. Am J Sport Med,2012,40(1):91-99. DOI: 10.1177/0363546511423634.

11. 段宗宇，张全兵，周云，等.前交叉韧带重建术后患者足底压力变化的初步临床观察[J].生物医学工程床与临床，2019,23（05）：570-575. DOI:10.13339/j.cnki.sglc.20190903.013. DUAN ZY, ZHANG QB, ZHOU Y, et al. Preliminary clinical observation of plantar pressure changes after anterior cruciate ligament re-construction [J]. Biomedical engineering bed & clinic, 2019,23 (05) : 570-575. DOI:10.13339/j.cnki.sglc.20190903.013.
12. 王建华,赵金忠,何耀华,等.严重膝关节伸直挛缩的微创治疗[J].中华骨科杂志,2006,26(5):300-304. DOI:10.3760/j.issn:0253-2352.2006.05.003. WANG JH, ZHAO JZ, HE YH, et al. Minimally invasive surgery for the severely stiff knee [J]. Chin J orthopaedics,2006,26(5):300-304. DOI:10.3760/j.issn:0253-2352.2006.05.003.
13. JUDET R.Mobilisation of the stiff knee [J].JBone Joint Surg Br，1959，41(1):856－857.
14. 胡永成,邱贵兴,马信龙,等.骨科疾病疗效评价标准[M].北京:人民卫生出版社,2012:189.
15. ONODA,Y,HAGIWARA Y,ANDO A,et al. Joint haemorrhage partly accelerated immobilization-induced synovial adhesions and capsular shortening in rats[J]. Knee Surg Sport Tr A,2014,22(11):2874-2883. DOI: 10.1007/s00167-013-2659-9
16. HAGIWARA Y, ANDO A, ONODA Y, et al. Expression patterns of collagen types i and iii in the capsule of a rat knee Contracture Model[J]. J Orthop Res. 2010;28(3):315-21. DOI: 10.1002/jor.20997
17. WANG F, ZHANG QB, ZHOU Y，et al. Effect of ultrashort wave treatment on joint function and muscle atrophy in a rabbit model of extending knee joint contracture: Enhanced expression of myogenic differentiation[J]. Knee, 2020, 27(6):795-802. DOI: 10.1016/j.knee.2020.02.013
18. WANG F, LI W, ZHOU Y, et al. Radial Extracorporeal Shock Wave Reduces Myogenic Contracture and Muscle Atrophy via inhibiting NF-κB/HIF-1α Signaling Pathway in Rabbit[J]. Connect Tissue Res, 2022, 63(3):298-307. DOI: 10.1080/03008207.2021.1920934
19. 陈爽, 张全兵, 周云，等. 超短波干预对兔伸直型膝关节挛缩模型关节囊纤维化的影响[J].安徽医科大学学报, 2021, 56(3):380-385. DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.03.009. CHEN S, ZHANG QB, ZHOU Y, et al. Effect of ultrashort wave intervention on joint capsule fibrosis in rabbit extending knee joint contracture [J]. Journal of Anhui Medical University, 2021, 56(3):380-385. DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.03.009.
20. 周云, 王锋, 张全兵，等. 兔膝关节伸直挛缩模型的建立[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2019, 41(7):488-493. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.07.002. ZHOU Y, WANG F, ZHANG QB, et al. Establishing a rabbit model of knee joint extension contracture [J]. Chin J Physiol Med & Rehabilitation, 2019, 41(7):488-493. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2019.07.002.
21. 杨帆, 黄鹏鹏, 周云，等. 兔伸直型膝关节挛缩模型中肌源性挛缩的病理特征及其机制研究[J].安徽医科大学学报, 2021, 56(7):1042-1046. DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.07.008. YANG F, HUANG PP, ZHOU Y, et al. Pathological characteristics and mechanism of myogenic contracture in rabbit model of knee extension contracture [J]. Journal of Anhui Medical University, 2021, 56(7):1042-1046. DOI:10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2021.07.008.
22. 刘丽玲, 倪朝民, 岳童，等. 脑卒中患者步行时足底压力中心不对称性及其与步速的相关性[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(4):409-413. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.04.006. LIU LL, NI CM, YUE T, et al. Center of foot pressure asymmetry and its correlation with walk velocity among hemiplegic stroke survivors [J]. Chin J Rehabilitation Med, 2017, 32(4):409-413. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.04.006.
23. 黄红拾, 敖英芳, 郭秦炜，等. 前交叉韧带重建术影响步行时足底压力时相特征初步研究[J]. 中国运动医学杂志, 2014, 33(3):189-192. DOI:10.3969/j.issn.1000-6710.2014.03.001. HUANG HS, AO YF, GUO QW, et al. Preliminary Study on the Change in Temporal Plantar Pressure during Walking after ACL Reconstruction [J]. Chin J Sports Med, 2014, 33(3):189-192. DOI:10.3969/j.issn.1000-6710.2014.03.001.
24. SANFORD BA, ZUCKER-LEVIN AR, WILLIAMS JL, et al. Principal component analysis of knee kinematics and kinetics after anterior cruciate ligament reconstruction[J]. Gait Posture. 2012 Jul;36(3):609-13. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.06.003
25. NORTHON S, BOIVIN K, LAURENCELLE L, et al. Quantification of joint alignment and stability during a single leg stance task in a knee osteoarthritis cohort[J]. Knee, 2018, 25(6):1040-1050. DOI: 10.1016/j.knee.2018.08.011
26. 夏清,袁海,曹娟娟.膝骨性关节炎患者膝关节疼痛指数与足底压力变化的相关性研究[J].安徽医学,2015,36(11):1358-1360. DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2015.11.013. XIA Q, YUAN H, CAO JJ. Impaction of knee pain index on plantar pressure in patients with knee osteoarthritis [J]. Anhui med, 2015,36 (11) : 1358-1360. DOI:10.3969/j.issn.1000-0399.2015.11.013.
27. 王利春,陈华,张洪丽,等.双侧膝骨性关节炎动态足底受力时间分布规律研究[J].中国康复医学杂志,2020,35(8):944-948. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.08.011. WANG LC, CHEN H, ZHANG HL, et al. A study on the time

distribution of dynamic plantar stress in bilateral knee osteoarthritis [J]. Chinese journal of rehabilitation medicine, 2020,35 (8) : 944-948. DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.08.011.

28. 付焘,于长禾,张洋,等.膝骨关节炎临床研究中结局评价指标的应用现况[J].中国医药导报,2018,15(29):21-24. FU T, YU CH, ZHANG Y, et al. Status of application of outcome measures in the clinical studies of knee osteoarthritis [J]. China medical review, 2018,15 (29) : 21-24.
29. 李秀珍,李慧转,梁春梅.神经肌肉电刺激疗法对脑卒中偏瘫患者步态时空参数和对称性参数的影响[J]. 广州医科大学学报, 2021, 49(1):37-40. DOI:10.3969/j.issn.2095-9664.2021.01.10. LI XZ, LI HZ, LIANG CM. Effect of neuromuscular electrical stimulation therapy on gait spatiotemporal parameters and symmetry indexes among hemiplegic patients with stroke [J]. Journal of Guangzhou Medical University, 2021, 49(1):37-40. DOI:10.3969/j.issn.2095-9664.2021.01.10.
30. 王欢,王锁良,李峰.膝骨关节炎患者与相匹配的正常人群动静态平衡功能障碍的对比研究[J].西安交通大学学报(医学版),2018,39(3):414-429. DOI:10.7652/jdyxb201803024. WANG H, WANG SL, LI F. Static and dynamic balance impairments in individuals with symptomatic knee osteoarthritis: A comparison with matched controls [J]. Journal of xi 'an jiaotong university (medical edition),2018,39(3):414-429. DOI:10.7652/jdyxb201803024.
31. 张永祥,张文洁,邵战海.膝关节骨性关节炎患者足底压力分布规律分析[J].中华临床医师杂志(电子版), 2012,6 (11) :2955-2958. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2012.11.028. ZHANG YX, ZHANG WJ, SHAO ZH. The analysis of the regularity of dynamic and static planta pressure in patients with osteoarthritis of knee [J]. Chin J clinician (electronic edition), 2012,6 (11) :2955-2958. DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2012.11.028.
32. 潘盛,郑欣,黄超然,等.全膝关节置换术下肢力线的研究进展[J].中国骨与关节损伤杂志,2020,35(8):894-896. DOI:10.7531/j.issn.1672-9935.2020.08.043. PAN S, ZHENG X, HUANG CR, et al. Research progress of lower limb alignment in total knee arthroplasty [J]. Chin J bone and joint injury,2020,35(8):894-896. DOI:10.7531/j.issn.1672-9935.2020.08.043.
33. STINS JF,MICHIELSEN ME,Roerdink M,et al.Sway regularity reflects attentional involvement in postural control:effects of expertise,vision and cognition[J].Gait Posture.2009;30(1):106-109. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2009.04.001
34. 马天亮,毛志勇,王典,等.平衡功能测试与评估系统数据预处理方法研究[J].宇航计测技术,2017,37(2):22-25. DOI:10.12060/j.issn.1000-7202.2017.02.05. MA TL,MAO ZY ,WANG D, et al. Research on Data Preprocessing Method of Balance Function Test and Evaluation System [J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement,2017,37(2):22-25. DOI:10.12060/j.issn.1000-7202.2017.02.05.
35. ALAIN H, YOLA F, SERGE LB. Does Increased Muscular Tension Along the Torso Impair Postural Equilibrium in a Standing Posture? [J].Gait Posture, 2011,34: 457-461. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2011.06.017
36. CAVANAUGH JT,GUSKIESICZ KM,STERGIOU N.A nonlinear dynamic approach for evaluating postural control:new directions for the management of sport-related cerebral concussion [J].Med.2005;35(11):935-950. DOI: 10.2165/00007256-200535110-00002
37. 侯宗辰,敖英芳,胡跃林,等.慢性踝关节不稳患者足底压力特征及相关因素分析[J]. 北京大学学报(医学版),2021, 53(2):279-285. DOI:10.19723/j.issn.1671-167X.2021.02.008. HOU ZC, AO YF, HU YL, et al. Characteristics and related factors of plantar pressure in the chronic ankle instability individuals [J]. Journal of Peking University (Medical Edition), 2021, 53(2):279-285. DOI:10.19723/j.issn.1671-167X.2021.02.008.